

15 FEB 2005

524893

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 2 月 26 日 (26.02.2004)

PCT

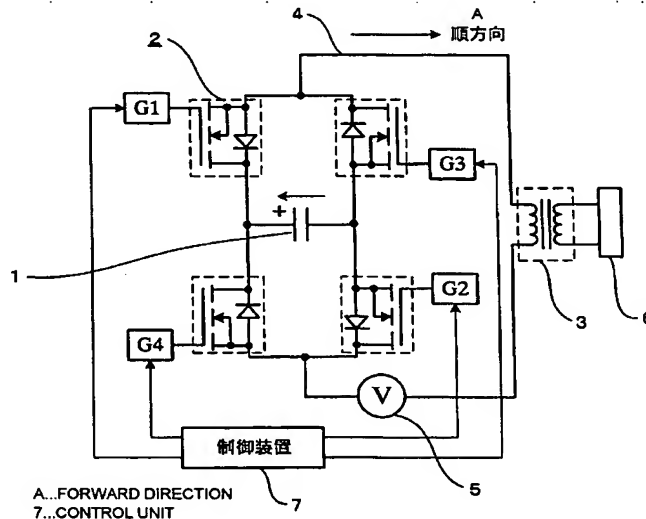
(10) 国際公開番号
WO 2004/017151 A1

- (51) 国際特許分類: G05F 1/30, H02M 9/04 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010414 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 嶋田 隆一 (SHI-MADA, Ryuichi) [JP/JP]; 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-1 2-1 東京工業大学内 Tokyo (JP). 高久 拓 (TAKAKU, Taku) [JP/JP]; 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-1 2-1 東京工業大学内 Tokyo (JP).
(22) 国際出願日: 2003 年 8 月 18 日 (18.08.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語 (74) 代理人: 安形 雄三 (AGATA, Yuzo); 〒107-0052 東京都港区赤坂 2 丁目 1 3 番 5 号 Tokyo (JP).
(30) 優先権データ: 特願2002-278148 2002 年 8 月 19 日 (19.08.2002) JP (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 財団法人 理工学振興会 (THE CIRCLE FOR THE PROMOTION OF SCIENCE AND ENGINEERING) [JP/JP]; 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-1 2-1 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: PULSE POWER SUPPLY FOR REGENERATING MAGNETIC ENERGY

(54) 発明の名称: 磁気エネルギーを回生するパルス電源装置



(57) Abstract: A pulse power supply for regenerating the magnetic energy stored in a discharge circuit in a capacitor so as to use it as the next discharge energy and supplying a bipolar pulse current at high repetition rate. A bridge circuit is constituted of four reverse-conducting semiconductor switches. A charged energy source capacitor is connected to the DC terminal of the bridge circuit. An inductive load is connected to the AC terminal. A control signal is applied to the gate of each reverse-conducting semiconductor switch to turn off all the gates when the discharge current is increased, maintained, and decreased. As a result, by the thus control, the magnetic energy of the current can be automatically regenerated in an energy source capacitor by the diode action of the switches. By inserting a large-current power supply in the discharge circuit, the energy loss caused by discharge is compensated, enabling high-repetition rate discharge.

(57) 要約: 放電回路に蓄積された磁気エネルギーをコンデンサに回生し、次の放電エネルギーとする、高繰り返しでバイポーラパルス電流を供給するパルス電源装置を提供するため、4個の逆導通型半導体スイッチにてブリッジ回路を構成し、その直流端子に充電されたエネルギー源コンデ

[続葉有]

WO 2004/017151 A1



SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

ンサを接続、その交流端子に前記誘導性負荷を接続するとともに、前記各逆導通型半導体スイッチのゲートに制御信号を与えて、放電電流の上昇、維持、さらに減少時には、全ゲートをオフにしてスイッチのダイオード作用にて電流の磁気エネルギーがエネルギー源コンデンサに自動的に回生できるように制御する。また、放電回路に大電流電源を挿入することにより、放電により生じたエネルギー損失を補填し、高繰り返し放電を可能とする。

明 細 書

磁気エネルギーを回生するパルス電源装置

技術分野

本発明は、誘導性負荷にパルス電流を供給するためのパルス電源装置に関するものである。

背景技術

誘導性の負荷に大電流を供給する場合、通常、高電圧で充電されたエネルギー源コンデンサを、スイッチとしてイグナイトロン、放電ギャップスイッチ、サイリスタなどの半導体を用いて、負荷に接続して、コンデンサ放電を開始させるパルス電源が一般的である。

これら、放電スイッチには通常、クランプ回路と呼ばれるダイオードが負荷に並列、もしくはコンデンサに並列に接続されており、電流が最大になった後は、コンデンサ電圧の逆転と共にダイオードがオンし、負荷電流がダイオードに環流することで、コンデンサの逆充電を防ぎ、クランプされた電流は負荷の電気抵抗により時定数 L/R で減衰しながら流れ続ける。

一方、パルス電流の用途の中には、減衰波形よりも、立ち上がり時が重要であるという分野も多い。小型医療用シンクロトロン加速器のパルス強磁場偏向電磁石などにおいては、最大の磁界を利用するのではなく、磁界を時間と共に上昇させる運転が必要であるが、このため、電流を速く減衰させてパルスレートを大きくすることが求められている。また、ガス励起レーザー電源の場合も、高速な電圧の立ち上がりと高繰り返しを要求されており、放電電源として、高繰り返し可能な制御が求められ

ていた。

放電電流が必要な電流値に達した場合、スイッチの制御により放電電流の上昇を停止させるには、スイッチをイグナイトロン、放電ギャップスイッチ、サイリスタのようなオン制御のみのスイッチから、GTO サイリスタや IGBT (Insulated-gate Bipolar Transistor) のようにゲート信号による自己消弧能力を持った半導体スイッチに換えればできる。

しかし、負荷側の誘導性電流は電圧零でクランプされ、ダイオードによるフリーホイーリング状態で L/R の長い時定数で減衰するのみである。ここに、エネルギーの無駄と、減衰を待つ時間が必要で、容量の増加や高繰り返しを求めるパルス電源の技術的問題となっていた。

フリーホイーリング状態の電流を遮断し、その磁気エネルギーをコンデンサに回生することが出来れば、負荷において、無駄に消費されていたエネルギーを減らせるばかりでなく、コンデンサにもどったエネルギーは次のエネルギーとして回生されるので、エネルギー効率の高い、高繰り返し可能なパルス電流発生電源の実現が可能となる。

発明の開示

第 2 図は、本発明の基本動作を説明するためのものである。電源側はスナバーエネルギー回生方式の電流スイッチの構成をしている。スナバーエネルギーを一時的に蓄積するコンデンサが、本発明ではエネルギー源コンデンサに相当する。スナバーエネルギー回生方式の電流スイッチについては、特開 2000-358359「スナバーエネルギーを回生する電流順逆両方向スイッチ」(特許文献 1) に開示されている。本発明では前記のスナバーエネルギーを回生する電流スイッチの構成を利用しているが、前記特許文献 1 に開示されているのは、遮断電流回路の磁気エネルギーをスナバーコンデンサに一時的に蓄え、次の導通時に負荷に放出する

電流スイッチである。これに対して、本発明では、エネルギー源コンデンサに全エネルギーが充電されており、そのエネルギーのみで負荷を駆動し、パルス終了の際、負荷に残った磁気エネルギーをエネルギー源コンデンサに回生しようとする点が特許文献 1 に記載のものと異なっている。

第 2 図の例では負荷は誘導性負荷で、抵抗 R とインダクタンス L で表してあるが、気体レーザーの場合は放電電極部であり、加速器偏向電磁石ではトランス結合されたダイポールコイルになるが、いずれも L と R の直列接続の負荷とみなされる。放電パルスの時間が L/R の時定数よりじゅうぶん短い場合、インダクタンス部の磁気エネルギーが供給したエネルギーの大部分を占めることが多い。

第 2 図の動作シーケンスを第 3 図で説明する。始めにコンデンサ 1 に第 2 図の極性のように充電しておき（充電回路は省略）、スイッチ S_1 とスイッチ S_2 をオンした場合、コンデンサの電荷は負荷に流れ始める。電流が最大になりコンデンサの電圧が負（ダイオードの順方向電圧分）になると、負荷電流はダイオードを介して環流し、フリーホイーリング状態になり負荷電流は「メイン電流の流れるパス」と書かれているような方向に、2 並列で流れ続ける。ここで、フリーホイーリング状態の電流が 2 並列で流れ続ける状態があることがこのスイッチ構成と動作の特徴であり、これにより、スイッチの電流容量は半分で済むことになり、経済的である。

つぎに、 S_1 と S_2 を共にオフにすれば、フリーホイーリング状態の電流は遮断され、2 つのダイオードを介して、コンデンサ 1 は同じ極性で再充電されることで、電流は急速に減少し、電流が零になるとダイオードは逆電流を阻止するため、電流は停止する。

スイッチ S_1 、 S_2 をオンした後、コンデンサ電圧が残っている内に

S 1, S 2 のどちらか一方をオフすれば、負荷電流はその値からフリーホイーリング状態になり、コンデンサ電圧は維持される。再びスイッチをオンすれば電流は上昇を再開する。このように、スイッチの高速なオン／オフでコンデンサ放電電流の PWM 制御が出来る可能性がある。この機能はスナバー回生方式の単なる電流スイッチではできなかったことである。

第 2 図の構成のスイッチとダイオードを用いれば、スイッチのオン／オフを任意のタイミングで行うことにより、放電を開始、維持、減少させることができ、かつ、磁気エネルギーはコンデンサに同じ極性で回生される。

第 4 図は本発明を電流双方向に発展させる原理図である。

この図が第 2 図と異なるところは、ダイオードとスイッチを並列接続したユニットを 4 つ、図のように逆直列・逆並列に取り付けたことにより、負荷に双方向の電流を流せるようにした点であり、スイッチをオフしたときにコンデンサ 1 に磁気エネルギーが回生される点は同じである（ここでも図 2 と同様に充電回路は省略してある）。

負荷への電流の向きを変えるには、動作スイッチ群を「たすき掛け」に、すなわち、電流順方向には S 1 及び S 2 をオン、電流逆方向には S 3 及び S 4 をオンに選択すれば可能である。なお、ここでいう「“たすき掛け” にペアを選択する」とは、4 つのスイッチが 4 角形状に配置されているときに、互いに対角線上に位置するペアを選択することを意味する。順逆の最大電流の大きさに応じたスイッチとダイオードの容量を選択することで合理的な設計をすることが好ましい。

第 5 図は、エネルギー源コンデンサ 1 へのエネルギー補充を放電回路に挿入した低電圧大電流電源 5 で可能なことを示すシミュレーション回路と結果の波形を表すものである。第 5 図の波形によるとコンデンサ電

圧と負荷電流が放電回数と共に上昇しているが、これは、直流抵抗分の電圧以上の電圧を外部電源から注入することで、放電電流が上昇するものである。このように、外部電源の電圧を増減すれば、パルス電流の電流値を制御できる。

また、運転に先立って低電圧大電流電源 5 により、回路に電圧を印加すれば抵抗で決まる電流が流れるが、その電流を電流スイッチで遮断することで、磁気エネルギーがコンデンサ 1 に回生され、充電されるので、コンデンサ充電のための高圧電源を用意することなく、低電圧電源のみで高速立ち上げのパルス電流を得ることもできる。

図面の簡単な説明

第 1 図は本発明の実施例を説明する図である。

第 2 図は本発明の基本原理を説明する図である。

第 3 図は第 2 図の電流と電圧およびスイッチのシーケンスを説明する図である。

第 4 図は本発明の電流双方向化の基本原理を説明する図である。

第 5 図は本発明のコンデンサ電圧を補助する方法の基本原理を解析する計算機シミュレーションのモデル図、および負荷の電流、コンデンサ電圧のシミュレーション波形である。

発明を実施するための最良の形態

第 1 図は本発明の実施形態を示す回路図である。同図が第 4 図と異なるところは、負荷の具体例である加速器用偏向電磁石 6 を電流トランス 3 を介してパルス電流で励磁する場合、パワー MOS FET を 4 つを逆直列・逆並列に接続したもので構成してあるところである。結果として、前記 4 つのパワー MOS FET はブリッジ回路を構成している。

ここで用いるパワー MOS FET は高耐圧でオン・オフが速く、導通損

が少ない特徴があり、かつ、ボディーダイオード（寄生ダイオードとも呼ばれる）が並列ダイオードの代用として有効に利用できるシリコンカーバイド（SiC）のパワーMOS FETを想定している。

ボディーダイオードが実用にならない現在のシリコン製のパワーMOS FETを用いても、逆導通状態になった時にゲート制御で強制的にオン状態にすることで、代用可能である。代用品として逆導通型 GTO サイリスタ、またはダイオードと IGBT 等の半導体スイッチとの並列接続したユニットなどでも本発明の効果は発揮できる。

なお、本発明においては、スイッチがオフの場合に順方向には電流を流さない（阻止）が、逆方向には導通するタイプのスイッチを逆導通型半導体スイッチと呼んでいる。前記パワーMOS FETや逆導通型 GTO サイリスタ、ダイオードと IGBT 等の半導体スイッチとの並列接続したユニットなどはその例である。

第 1 図のパワーMOS FET スイッチに制御装置 7 から G 1 ～ G 4 にゲート信号を与えるが、G 1、G 2 の「たすき掛け」にペアを選択することにより電流の向きが順方向になり、G 3、G 4 のペアを選択すると電流の向きが逆方向になる。これは、小型医療用加速器偏向電磁石のパルス運転用電流トランスの励磁特性改善のための磁化リセット電流を流すことを可能にするために必要である。

また、第 1 図において、誘導性負荷 6 とスイッチ 2 の間に低電圧大電流電源 5 が挿入されているが、この電圧を放電電流に直列に印加することで、エネルギーを放電毎に補給することができる。また、初回に低電圧大電流電源 5 により、回路に電流 4 を流しておき、電流スイッチ 2 で遮断することで、コンデンサ 1 をスナバーコンデンサのように充電できるので、コンデンサ充電のために別の高電圧電源を用意することなく、低電圧電源のみで高速立ち上げのパルス電流を得ることができる。もち

ろん、コンデンサ 1 に充電電源を接続して、コンデンサを充電する一般的方法も有効である。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明によれば、電流発生用エネルギー源コンデンサのスイッチとしてダイオードと並列接続した 4 つの半導体スイッチで構成されたブリッジ構成の双方向電流スイッチのゲート信号をそれぞれ制御することにより、誘導性負荷への電流の開始、維持、停止を高速に行うことができる。このとき電流減少時には、磁気エネルギーがコンデンサへと同じ極性で回生されることが特徴である。また、第 5 図のように低電圧大電流電源 5 を電流回路に挿入すれば、放電サイクルを繰り返しながら、コンデンサの充電電圧を増減することができる。

4 つのスイッチ素子の総容量は、基本的に、耐電圧が、パワー MOS FET の 2 直列で持たせられれば、個々には半分で良く、かつパルス導通電流が、2 アームを並列に流れることなどを考慮すればこれも半分であるので、従来のパルス電源に較べて、電圧・電流容量を基本的には増加させずに対応できる。

請 求 の 範 囲

1. 誘導性負荷に、高い繰り返しでパイポーラーパルス電流を供給するとともに、系の残留磁気エネルギーを回生して次回の放電に用いるパルス電源装置であって、該装置は、

4個の逆導通型半導体スイッチにて構成されるブリッジ回路の直流端子に初期充電されたエネルギー源コンデンサが接続され、その交流端子に前記誘導性負荷が接続されるとともに、

前記各逆導通型半導体スイッチのゲートに制御信号を与えて、各半導体スイッチのオンオフ制御を行う制御回路をさらに具備し、

前記制御回路は、前記ブリッジ回路を構成する4個の逆導通型半導体スイッチのうち、対角線上に位置するペアの逆導通型半導体スイッチのオンオフ動作をそれぞれ同時にオンもしくは交互にオンするように制御するとともに、2組あるペアのうち、一方のペアを構成する2個の逆導通型半導体スイッチのうち少なくとも一つがオンのときは、他方のペアの逆導通型半導体スイッチは両方ともオフになるように制御することを特徴とする磁気エネルギーを回生するパルス電源装置。

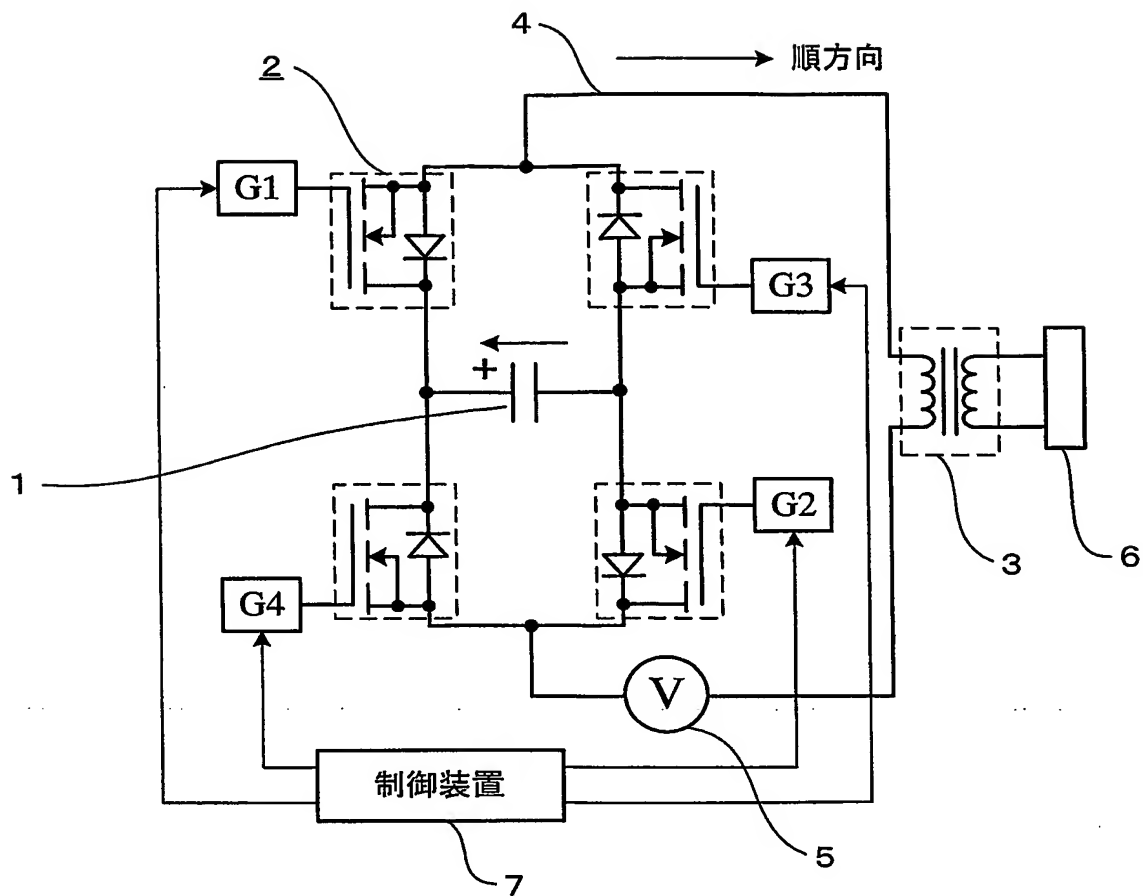
2. 前記誘導性負荷と直列に低電圧大電流の電源を挿入し、放電中に失うエネルギーを補充して、次回の放電電流を増減させることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の磁気エネルギーを回生するパルス電源装置。

3. 前記各逆導通型半導体スイッチが、パワーMOS FET、逆導通型 GTO サイリスタ、又はダイオードと IGBT 等の半導体スイッチとの並列接続から成るユニットのいずれかである請求の範囲第1項または第2項に記載の磁気エネルギーを回生するパルス電源装置。

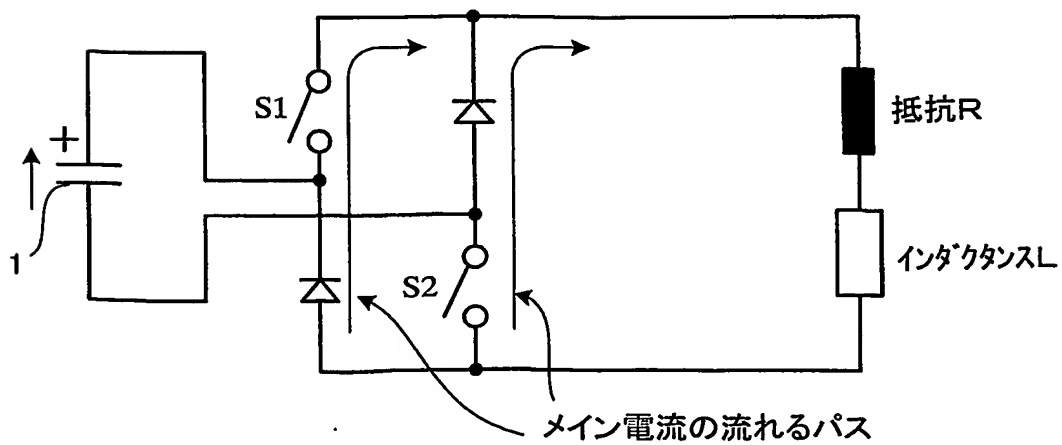
4. 前記 2 組のペアの逆導通型半導体スイッチのうちのいずれか一方のペアをダイオードで置き換えたことを特徴とする請求の範囲第 1 項乃至第 3 項のいずれかに記載の磁気エネルギーを回生するパルス電源装置。

1/3

第1図

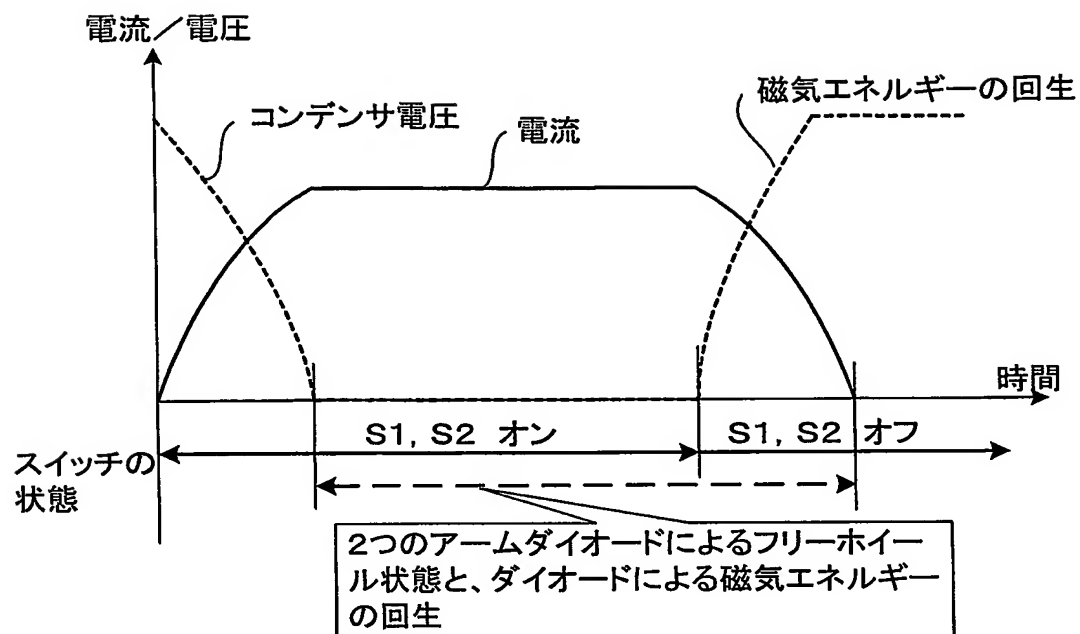


第2図

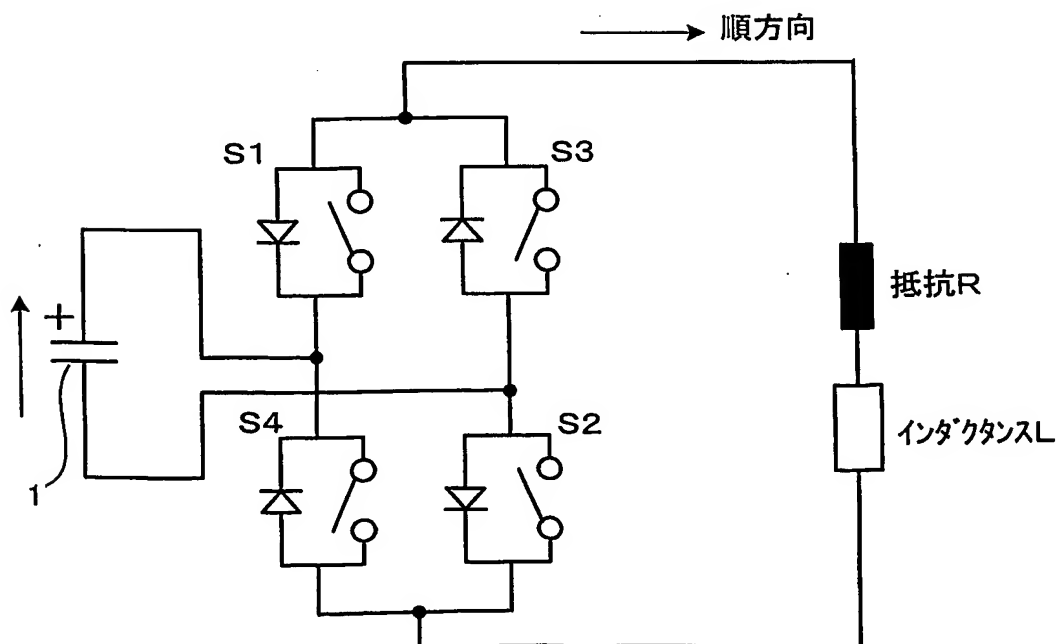


2/3

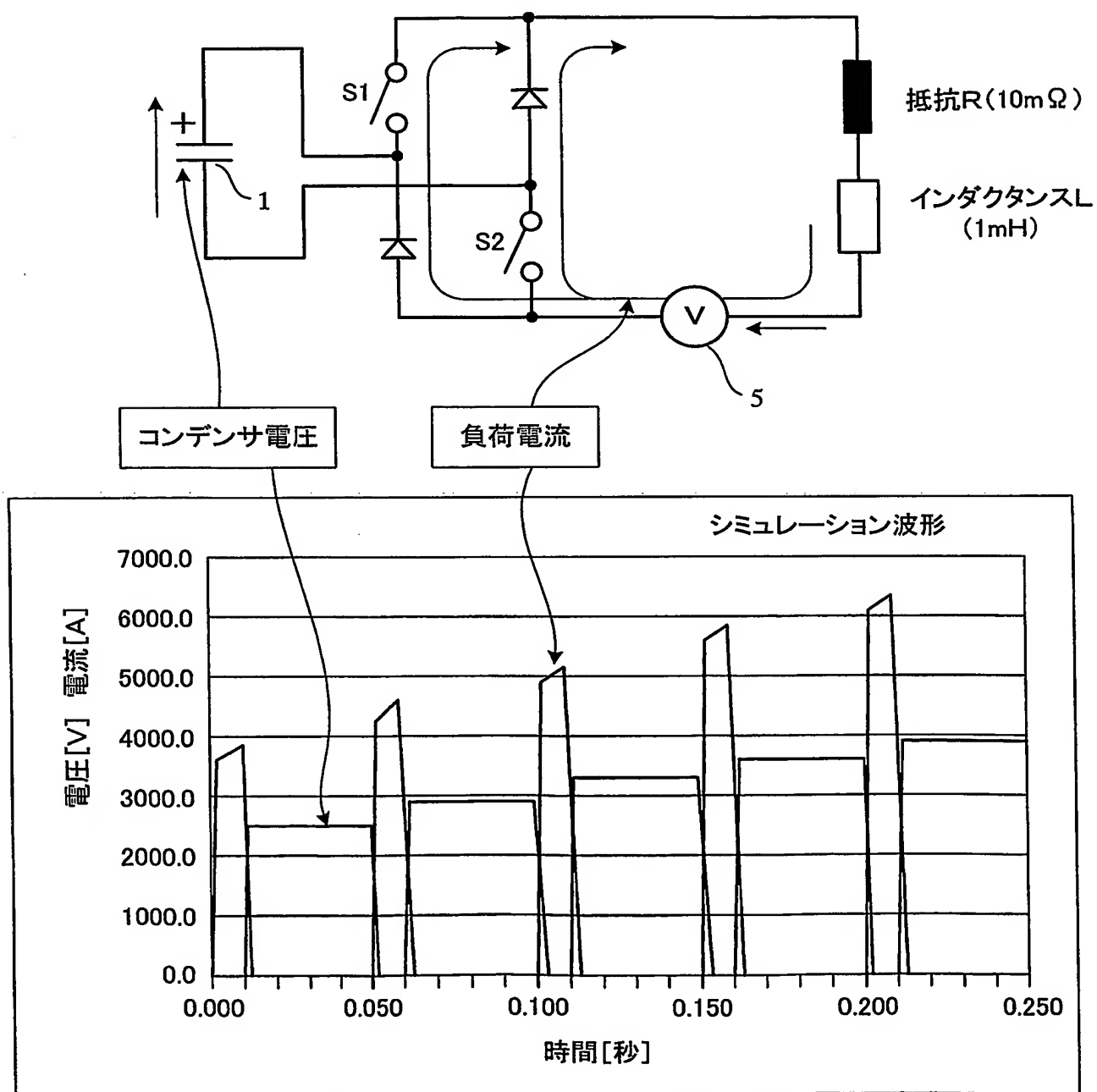
第3図



第4図



第5図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10414

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G05F1/30, H02M9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G05F1/30, H02M9/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-225497 A (Mitsubishi Electric Corp.), 17 August, 1999 (17.08.99), Figs. 1, 7, 13, 20; Par. Nos. [0004], [0022] to [0035] (Family: none)	1, 3, 4
Y	JP 2000-354304 A (The Chugoku Electric Power Co., Inc.), 19 December, 2000 (19.12.00), Figs. 3, 8; Par. Nos. [0005], [0030], [0031] (Family: none)	1, 3, 4
Y	JP 7-143793 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 02 June, 1995 (02.06.95), Par. Nos. [0069] to [0071]; Fig. 17 (Family: none)	4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not
considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing
date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is
cited to establish the publication date of another citation or other
special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other
means
"P" document published prior to the international filing date but later
than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or
priority date and not in conflict with the application but cited to
understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
considered novel or cannot be considered to involve an inventive
step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
considered to involve an inventive step when the document is
combined with one or more other such documents, such
combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 November, 2003 (14.11.03)

Date of mailing of the international search report
25 November, 2003 (25.11.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10414

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-123728 A (Toshiba Corp.), 12 May, 1995 (12.05.95), Page 1 (Family: none)	1-4
A	JP 7-67318 A (Mitsubishi Electric Corp.), 10 March, 1995 (10.03.95), Page 1 & CN 1099916 A	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G05F1/30, H02M9/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G05F1/30, H02M9/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-225497 A (三菱電機株式会社) 1999. 08. 17, 図1, 7, 13, 20, 段落【0004】、【0022】-【0035】、 (ファミリーなし)	1, 3, 4
Y	JP 2000-354304 A (中国電力株式会社) 2000. 12. 19, 図3, 8, 段落【0005】、【0030】、【0031】、 (ファミリーなし)	1, 3, 4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 11. 03

国際調査報告の発送日

25.11.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

米山 毅



3V

9324

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 7-143793 A (松下電工株式会社) 1995. 06. 02, 段落【0069】-【0071】, 図17 (ファミリーなし)	4
A	JP 7-123728 A (株式会社東芝) 1995. 05. 12, 第1ページ, (ファミリーなし)	1-4
A	JP 7-67318 A (三菱電機株式会社) 1995. 03. 10, 第1ページ, &CN 1099916 A	1-4